

Jurnal ***Rekayasa ElektriKA***

VOLUME 14 NOMOR 3

Desember 2018

**Pemantauan Energi Listrik pada Satu kWH-meter Fase Tunggal untuk Empat
Kelompok Beban Berbasis Metode Payload Data Handling** 189-197

Suhendri dan Arief Goeritno

JRE	Vol. 14	No. 3	Hal 145–220	Banda Aceh, Desember 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	-------------	------------------------------	--------------------------------------

Pemantauan Energi Listrik pada Satu kWh-meter Fase Tunggal untuk Empat Kelompok Beban Berbasis Metode Payload Data Handling

Suhendri dan Arief Goeritno

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2 Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164
e-mail: hendri.henhan@gmail.com

Abstrak—Telah dibuat sebuah sistem minimum untuk pemantauan energi listrik pada satu kWh-meter fase tunggal untuk empat kelompok beban berbasis metode *Payload Data Handling* (PDH). Tujuan penelitian ini, yaitu memperoleh sebuah sistem berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dan pengukuran kinerja sistem. Metode perolehan sistem dilakukan melalui (i) pembuatan board untuk modul sensor dan relai; (ii) pembuatan board untuk modul sistem pengendali; (iii) pengawatan terintegrasi terhadap sejumlah board dan modul; dan (iv) pemrograman terhadap sistem berbantuan Arduino IDE berpedoman kepada metode PDH. Metode pengukuran kinerja sistem dilakukan melalui uji verifikasi dan validasi. Modul sensor dan relai terdiri atas sebuah sensor tegangan, empat buah sensor arus, empat buah relai, dan rangkaian elektronika pendukung. Modul pengintegrasian sejumlah pin difungsikan sebagai pengintegrasian terhadap semua pin yang berhubungan dengan pin-pin pada sistem mikrokontroler yang berkaitan dengan masukan dan keluaran. Pemrograman sistem mikrokontroler didasarkan terhadap penentuan algoritma dan penyusunan sintaks. Uji verifikasi berbantuan aplikasi Proteus dilakukan dalam bentuk simulasi pemberian kondisi buatan berupa keberadaan nilai tegangan, arus, dan jumlah waktu untuk perolehan nilai energi. Simulasi dilakukan terhadap setiap jalur kelompok beban. Uji verifikasi merupakan penentuan linearitas nilai arus dan tegangan. Berdasarkan uji validasi, diperoleh nilai kWh dan jumlah biaya energi listrik (dalam rupiah) yang terpantau setiap saat dan dapat dilakukan pencetakan setiap pekan atau bulanan.

Kata kunci: *Pemantauan energi listrik, kWh-meter fase tunggal, metode PDH, mikrokontroler Arduino*

Abstract— A minimum system has been made for monitoring the electric energy in a single phase kWh-meter for four load groups based on the Data Handling Payload (PDH) method. The purpose of this study, namely to obtain an integrated system based on Arduino MEGA2560 R3 microcontroller and measurement of the system performance. Method of obtaining the system is carried out through (i) making boards for sensor modules and relays; (ii) making boards for module of the driving the system; (iii) wiring integration of a number of boards and modules; and (iv) programming against the microcontroller system assisted by the Arduino IDE based on the PDH method. Method of measuring the system performance is carried out through verification and validation tests. Sensors and relays module consist of a voltage sensor, four current sensors, four relays, and a supporting electronic circuit. The integration module of a number of pins is functioned as an integration of all pins associated with pins on the microcontroller system with regard to input and output. Programming the microcontroller system is based on the determination of algorithms and the preparation of syntax. The verification test assisted by the Proteus application is carried out in the form of simulation of the provision of artificial conditions in the form of the value of voltage, current, and the amount of time for the acquisition of energy values. Simulations are carried out on each path of the load group. A verification test is the determination of the linearity of current and voltage values. Based on the validation test, it is obtained the kWh values and the amount of electric energy costs (in rupiah) that are monitored at any time and can be printed every time or monthly.

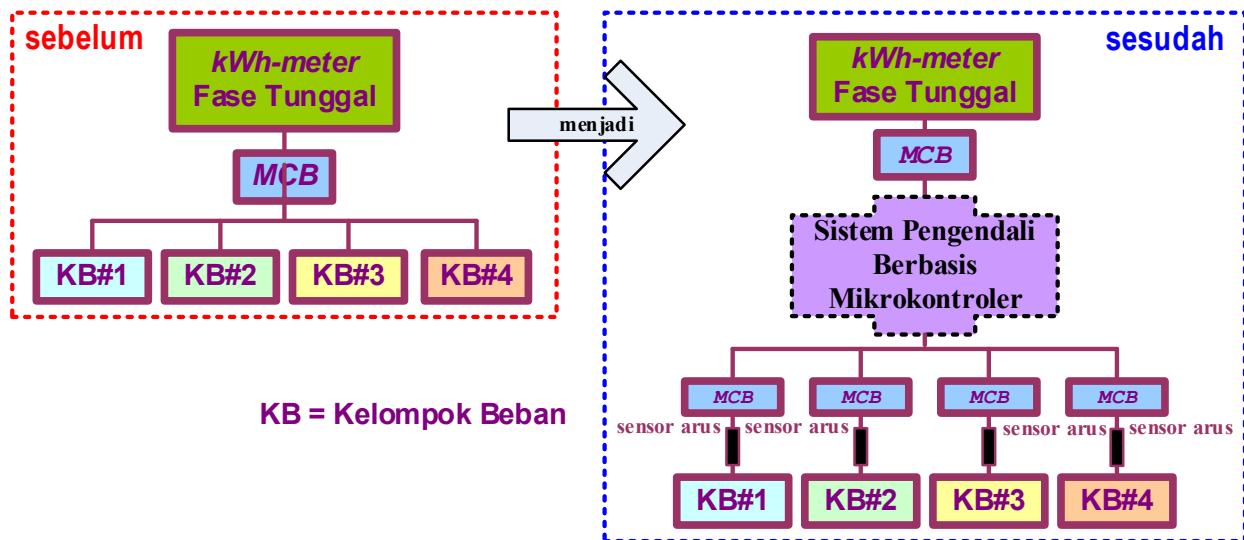
Keywords: *Monitoring the electric power, single phase kWh-meter, PDH method, Arduino microcontroller*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Penelitian berkaitan dengan pemantauan terhadap pemakaian energi listrik berbantuan mikrokontroler telah dilakukan melalui pembuatan sebuah prototipe untuk penampil nilai rupiah [1], maupun sebuah prototipe sistem prabayar pemakaian energi listrik untuk setiap

kamar sewa [2], termasuk juga pembuatan sebuah prototipe untuk pemantauan nilai arus listrik setiap kelompok beban yang tersambung pada sebuah kWh-meter fase tunggal [3], [4]. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang berbasis pada mikrokontroler ATmega [3], [4], menjadi berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dengan penambahan kemampuan sistem



Gambar 1. Diagram blok pengawatan instalasi listrik satu *kWh-meter* sebelum dan sesudah pemasangan sitem pengendali untuk empat kelompok beban

dalam hal penunjukan nilai energi listrik dan rupiah, masukan (*input*) untuk perubahan nilai Tarif Dasar Listrik (TDL), cetak hasil (*print out*) harian atau bulanan, dan penyetelan ulang (*reset*). Pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* fase tunggal yang digunakan untuk satu kelompok beban atau kebutuhan untuk satu rumah tangga sangatlah mudah dan tidak terdapat banyak kendala, karena sudah sesuai dengan peruntukan [5]. Perbedaan muncul dengan sekelompok masyarakat yang mempunyai usaha penyewaan rumah kos-kosan, sewa rumah petak (kontrakan) dan keadaan lain yang sejenis yang hanya berbekal satu *kWh-meter* untuk keperluan lebih dari satu kelompok beban listrik. Fungsi *kWh-meter* sebagai penghitung seberapa besar pemakaian energi listrik suatu bangunan pelanggan, baik di rumah, kantor, maupun pabrik [6].

Pemantauan energi listrik pada kondisi rumah petak (kontrakan) atau kamar kos-kosan melalui meter pencatat energi listrik atau *kilo watt hour meter* (meter *kWh* atau *kWh-meter*) sangat mutlak dilakukan [7]-[10], sebagaimana halnya konsumen PT (Persero) PLN. Hal itu menjadi lebih sulit, jika hanya digunakan satu *kWh-meter* untuk pemantauan pemakaian energi listrik terhadap sejumlah kelompok beban, karena berpengaruh pada penentuan besar iuran biaya listrik, dan perilaku para pengguna listrik itu sendiri [5]. Pemantauan energi listrik untuk sejumlah kelompok beban dengan satu *kWh-meter* dapat dilakukan secara manual, namun hal itu tidak efisien, karena diperlukan sumber daya manusia sebagai pencatat terhadap sejumlah alat pengukur arus (tang ampere) setiap saat atau dilakukan pemasangan *kWh-meter* baru untuk masing-masing kelompok beban, sehingga hal itu berdampak kepada penambahan biaya untuk pengadaan sejumlah *kWh-meter* tersebut dan tetap dibutuhkan sumber daya manusia untuk pencatatan dan penghitungan [1]. Dewasa ini sejumlah perangkat dengan teknologi kontrol telah banyak diciptakan dan dikembangkan dengan tujuan khusus untuk kemudahan dalam pengerjaan dan pengurangan beban kerja manusia [2], baik berbasis

mikrokontroler maupun *komputer personal* (PC, *personal computer*), sebagaimana pemanfaatan sistem elektronis berbantuan PC untuk pemantauan kondisi pasokan daya listrik [11]. Penerapan metode *Payload Data Handling* (PDH) yang merupakan teknik kontrol untuk pemantauan, penyimpanan, pengiriman, dan penerimaan data yang beroperasi secara otomatis melalui sistem pengendalian jarak jauh atau dekat [12].

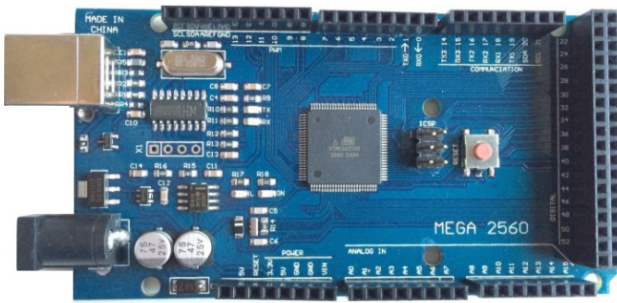
Berdasarkan latar belakang tersebut, maka diperlukan peranti elektronis yang dapat digunakan untuk kemudahan terhadap pemantauan energi listrik yang terpakai dan dimonitor secara proporsional sesuai dengan pemakaian energi listrik masing-masing kelompok beban. Jumlah pemakaian energi listrik dilakukan melalui pengukuran nilai arus yang teralirkan ke beban dan pemantauan nilai tegangan [3], [4]. Diagram blok pengawatan instalasi listrik satu *kWh-meter* sebelum dan sesudah pemasangan sitem pengendali untuk empat kelompok beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Berpedoman kepada Gambar 1, maka ditetapkan tujuan penelitian, yaitu memperoleh (i) integrasi sejumlah modul untuk sebuah sistem minimum berbasis sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dan pemrograman berbasis Arduino IDE [13]-[17] sesuai metode PDH [12], [3], [4]; dan (ii) pengukuran kinerja sistem minimum melalui uji verifikasi berupa simulasi dan uji validasi melalui pemberian beban-beban listrik sesungguhnya di setiap kelompok beban.

II. STUDI PUSTAKA

A. Energi listrik dan Alat Pencatatnya

Pemantauan energi (tenaga) listrik merupakan proses manajemen energi listrik yang sangat penting dalam perolehan efisiensi dan penghematan pemakaian energi listrik untuk jangka panjang [18]. Pemantauan energi listrik dapat dipantau pada *kWh-meter* yang terpasang pada instalasi listrik sisi konsumen dalam penggunaan satuan



Gambar 2. Tampilan fisis sisi atas modul mikrokontroler Arduino MEGA 2560 [17]

dan kWh-meter digital. Kedua kWh-meter tersebut dengan perbedaan dalam prinsip kerja, keuntungan dan kerugian, dan ketelitian yang berbeda juga [20].

Satu kWh-meter pada umumnya dengan peruntukan hanya untuk satu kelompok beban [7]-[10]. Berbeda halnya dengan sekelompok masyarakat dengan usaha sewa rumah petak (kontrakan), kamar kos-kosan, dan/atau keadaan lain yang sejenisnya. Tidak sedikit diantaranya dengan penggunaan satu kWh-meter dipakai untuk lebih dari satu kelompok beban, sehingga susah untuk pembagian iuran pembayaran listrik setiap bulannya secara adil dan proporsional. Karakter individu tiap kelompok pasti berbeda-beda dalam penggunaan daya listrik dan macam-macam peralatan listrik yang digunakan juga pasti berbeda.

Energi (W , dalam satuan joule), adalah kemampuan untuk dilakukan kerja ($work$) dan daya adalah laju perubahan waktu saat dilakukan kerja (P , dalam satuan watt), sedangkan kerja adalah gaya saat gerakan yang dilakukan sepanjang jarak tertentu [18]. Nilai kWh dan Rupiah yang dibayarkan setiap bulan atau sesuai pemakaian daya listrik pelanggan listrik PLN dapat dihitung dengan Persamaan (1) dan (2) [21].

$$kWh = \text{daya listrik} \times \text{waktu (jam)} \div 1000, \quad (1)$$

$$\text{Biaya (Rp.)} = \text{jumlah kWh} \times \text{TDL}. \quad (2)$$

B. Mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3

1. Modul Arduino MEGA2560 R3

Modul Arduino MEGA2560 R3 (spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1) merupakan sebuah board mikrokontroler berbasis pada IC ATmega2560 dengan flash memory 256 kB dan 8 kB digunakan untuk bootloader, SRAM 8 kB, EEPROM 4 kB, dan Clock Speed 16 Mega hertz [22]-[24]. Arduino MEGA2560 dengan 54 buah pin digital yang dapat digunakan sebagai input ataupun output. Berdasarkan jumlah 54 buah pin tersebut, 15 pin diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran Pulse Width Modulation (PWM), memiliki 16 pin analog input, 4 pin UARTs yang berfungsi sebagai port serial untuk hardware, sebuah oscillator kristal 16 Mega Hertz, sebuah jack female untuk koneksi USB, jack female adaptor, dan sebuah tombol reset. Dalam penelitian ini IC mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega2560 [25], [26]. Mikrokontroler ATmega2560 berbentuk persegi dengan jumlah pin

Tabel 1. Spesifikasi modul mikrokontroler Arduino MEGA 2560 R3

Parameter	:	Nilai
Tegangan Operasi	:	5 V
Tegangan masukan	:	7-12 V (disarankan)
Kisaran tegangan masukan	:	6-20 V
Jumlah pin untuk I/O digital	:	54 (15 pin digunakan sebagai keluaran PWM)
Jumlah pin masukan analog	:	16
Arus dc tiap pin I/O	:	40 mA
Arus dc untuk pin 3,3 V	:	50 mA
Flash Memory	:	256 kB (8 kB digunakan untuk bootloader)
SRAM	:	8 kB
EEPROM	:	4 kB
Clock Speed	:	16 Mega hertz

sebanyak 100 buah. Mikrokontroler ATmega2560 dengan kemampuan eksekusi terhadap instruksi program dalam satu siklus clock tunggal, sehingga ATmega2560 mampu dioptimalkan dengan keberadaan konsumsi daya yang dibandingkan dengan kecepatan pemrosesan program [22]-[26]. Tampilan fisis sisi atas modul mikrokontroler Arduino MEGA2560, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

2. Arduino software

Arduino software dikenal dengan Arduino Integrated Development Environment (IDE) yang merupakan kependekan dari atau Arduino Software, adalah sebuah software yang telah disiapkan oleh Arduino bagi para perancang untuk pelaksanaan berbagai proses yang berkaitan dengan pemrograman terhadap mikrokontroler Arduino [13]-[17]. Arduino IDE adalah sebuah platform bersifat open source untuk mikrokontroler dan dirancang untuk kemudahan penggunaan dalam rancangan sebuah sistem berbasis mikrokontroler. Arduino IDE bukan hanya sebuah bentuk pengembangan software pada mikrokontroler, tetapi merupakan sebuah platform bahasa pemrograman untuk sebuah board Arduino [13]-[17]. Arduino IDE tersedia secara gratis dan dapat diperoleh secara langsung pada laman resmi Arduino di <https://www.arduino.cc/en/main/software>. Arduino IDE sudah didukung oleh berbagai sistem pengoperasian populer saat ini, seperti Windows, Mac, dan Linux [13]-[17].

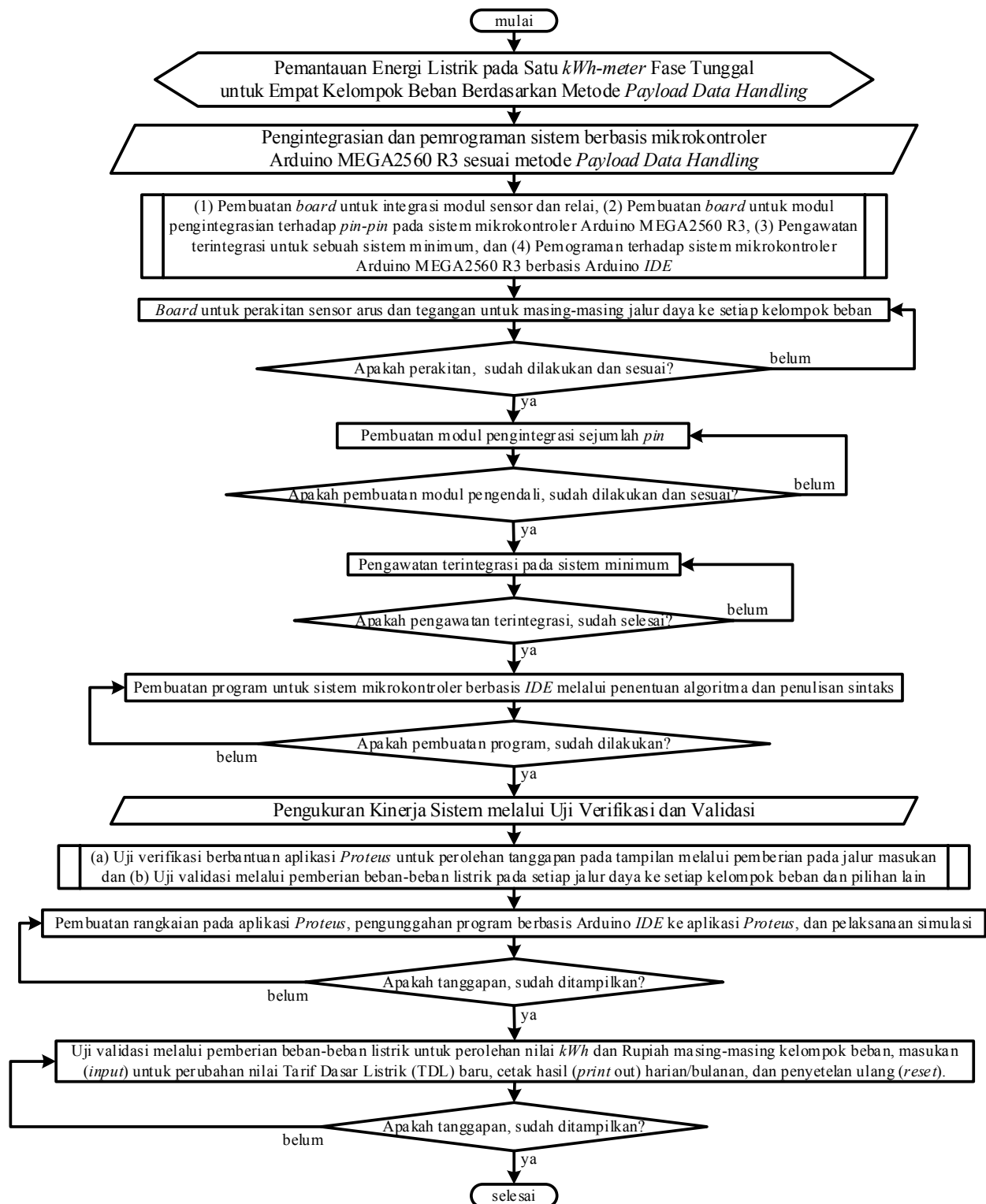
C. Metode Payload Data Handling

Metode Payload Data Handling (PDH) merupakan bentuk metode untuk sistem pemantauan, penyimpanan, pengiriman, dan penerimaan data yang beroperasi secara otomatis melalui sistem pengontrolan jarak jauh atau dekat [12], [3], [4]. Sistem berbasis PDH dengan beberapa kelebihan, yaitu rancangan rangkaian yang ringkas, tidak dibutuhkan sumber daya yang besar, dan terdapat tampilan untuk kemudahan pengguna dalam pemantauan beban

yang sedang digunakan [3]. Keterkaitan sistem berbasis metode *PDH* dan pemantauan pemakaian energi listrik pada satu *kWh-meter* untuk sejumlah rumah sewa, meliputi (a) saluran distribusi daya, (b) penggunaan saluran daya sebagai media pengiriman untuk keperluan komunikasi, dan (c) sistem pengontrolan berbasis metode *PDH* dengan pemanfaatan tegangan dan arus listrik [3], [4].

III. METODE

Metode penelitian dibuat dalam bentuk diagram alir. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

A. Pengintegrasian dan Pemrograman Sistem Minimum Berbasis Sistem Mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3

Perolehan sebuah sistem minimum berbasis sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dilakukan melalui langkah-langkah: (a) pembuatan *board* untuk integrasi modul sensor tegangan dan arus, relai, dan rangkaian elektronika pendukung pada masing-masing jalur daya ke setiap kelompok beban; (b) pembuatan *board* untuk modul pengintegrasian; (c) pengawatan terintegrasi untuk perolehan sebuah sistem minimum, dan (d) pembuatan program untuk sistem mikrokontroler berbasis Arduino *IDE* melalui penentuan algoritma dan penyusunan sintaks.

B. Pengukuran Kinerja Sistem berupa Uji Verifikasi dan Validasi

Perolehan pengukuran kinerja sistem dilakukan melalui simulasi untuk perolehan tanggapan pada tampilan melalui penanaman program berbasis Arduino *IDE* ke aplikasi *Proteus* dengan pemberian kondisi buatan dan uji validasi melalui pengukuran kinerja sistem minimum dengan pemberian beban-beban listrik sesungguhnya yang dilakukan pada setiap jalur daya ke kelompok beban.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

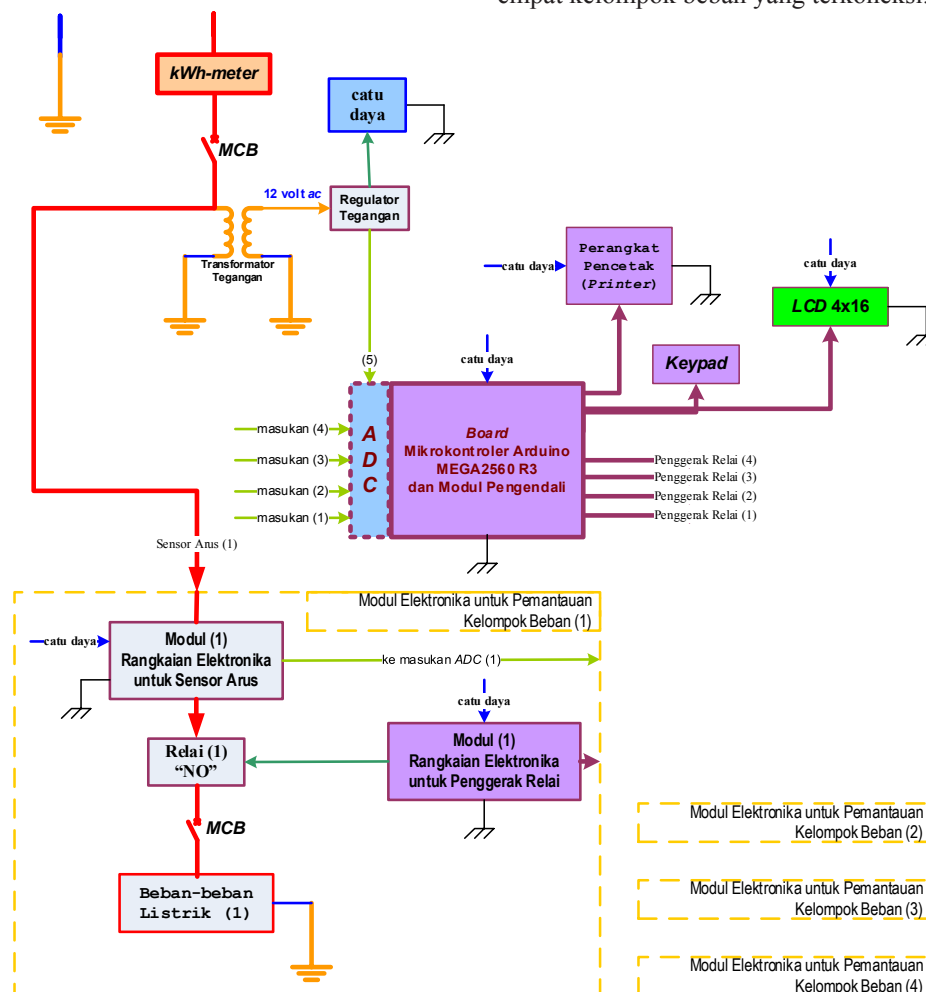
Pemantauan terhadap pemakaian energi listrik pada empat kelompok beban yang tersambung dan terlayani dari satu kWh-meter, dilakukan melalui sistem minimum berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dengan penerapan metode *Payload Data Handling*. Diagram skematis pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* dengan empat kelompok beban secara terpisah dan mandiri, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

A. Pengintegrasian dan Pemrograman Sistem Berbasis Mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3

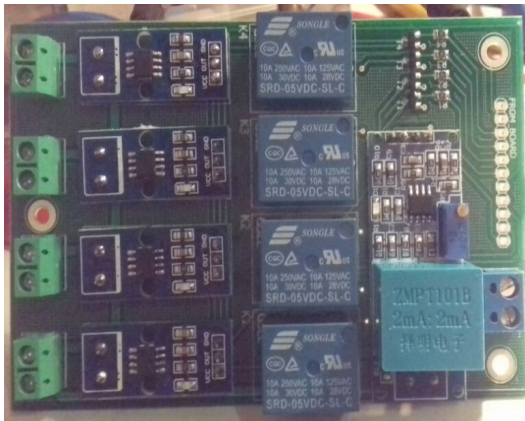
1. Board untuk integrasi modul sensor dan relai

Pengintegrasian terhadap sejumlah modul dan rangkaian elektronika yang disusun menjadi satu kesatuan dalam sebuah modul, digunakan untuk pemantauan terhadap setiap jalur kelompok beban. Bentuk fisis *board* untuk integrasi modul sensor dan relai, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

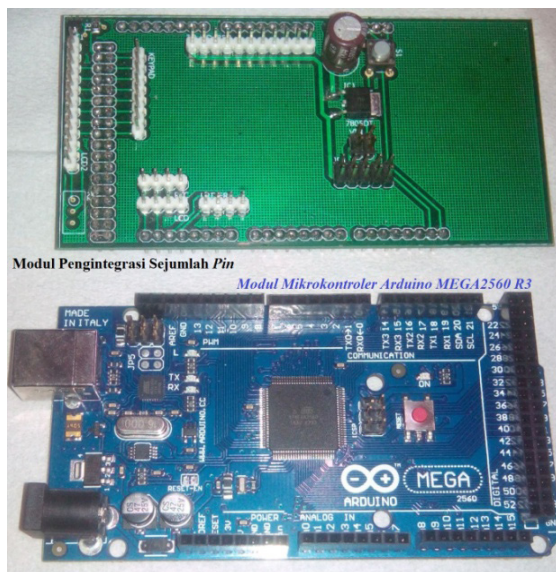
Berdasarkan Gambar 5, ditunjukkan bahwa pada *board* terdapat modul sensor tegangan dan rangkaian elektronika pendukung, empat buah modul relai, dan empat buah modul sensor arus untuk keperluan masing-masing dari ke empat kelompok beban yang terkoneksi.



Gambar 4. Diagram skematis pemantauan energi listrik dengan empat kelompok beban secara terpisah dan mandiri



Gambar 5. Bentuk fisis board untuk integrasi modul sensor dan relay



Gambar 6. Bentuk fisis modul pengintegrasi sejumlah pin dan modul mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3

2. Board untuk modul pengintegrasi terhadap pin-pin pada sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3

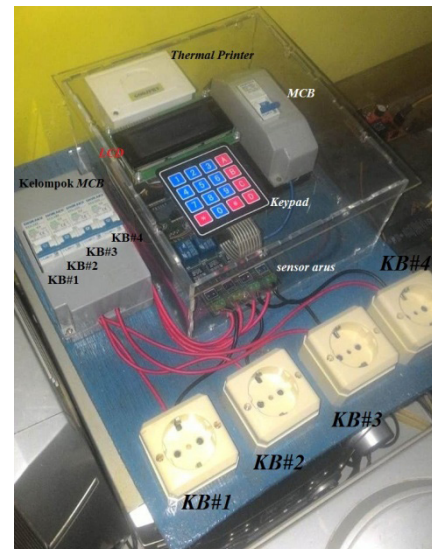
Pembuatan *board* untuk modul pengendali digunakan untuk pengintegrasian *pin-pin* Arduino MEGA2560 R3 dengan komponen-komponen lain, seperti *Real Time Clock (RTC)*, *Liquid Crystal Display (LCD)*, *Printer*, *Keypad*, dan *board* modul sensor dan relay. Bentuk fisis modul pengintegrasi sejumlah *pin*, dan modul mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

3. Pengawatan terintegrasi untuk sebuah sistem minimum

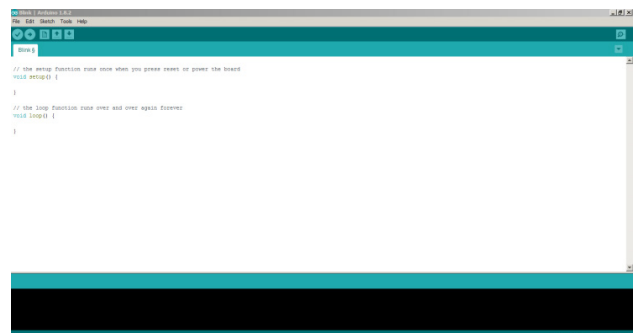
Pengawatan terintegrasi dimulai dari penggabungan modul pengintegrasi sejumlah *pin* terhadap modul Arduino MEGA2560 R3. Bentuk fisis sistem terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 untuk pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* fase tunggal guna pengelolaan empat kelompok beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

4. Pemrograman terhadap sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 berbasis Arduino IDE

Pemrograman terhadap mikrokontroler Arduino MEGA



Gambar 7. Bentuk fisis sistem terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 untuk pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* fase tunggal guna pengelolaan empat kelompok beban



Gambar 8. Tampilan jendela pada Arduino software

2560 R3 digunakan aplikasi *Integrated Development Environment (IDE)* yang merupakan aplikasi bawaan dari arduino yang menggunakan bahasa pemrograman C. Tahapan pemrograman yang harus dilalui terdiri atas pembuatan algoritma dan penulisan sintaks dan untuk kesesuaian hasil, dilakukan uji verifikasi. Tampilan jendela pada *Arduino software*, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

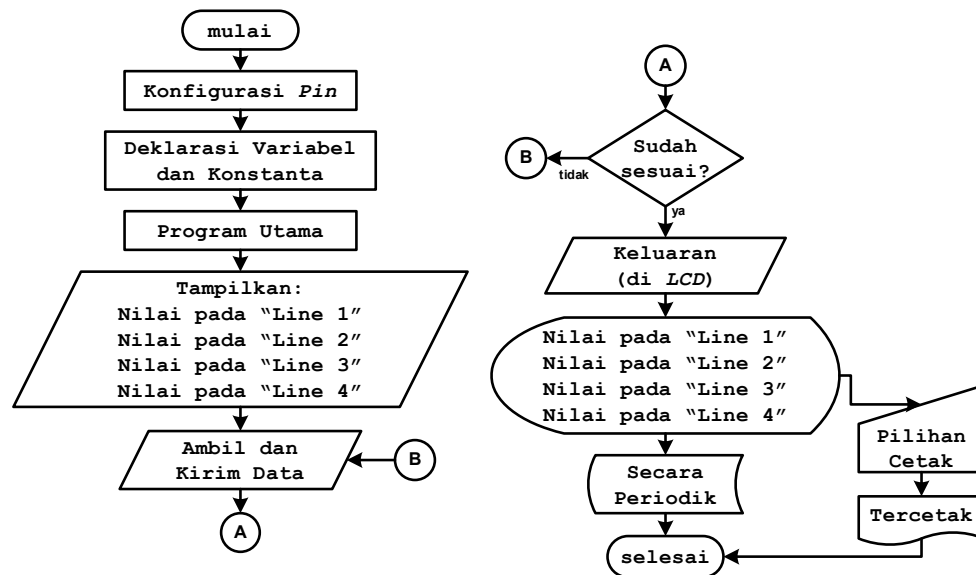
- a. Pembuatan algoritma

Pembuatan algoritma dengan tujuan, agar diperoleh kemudahan dalam pemrograman, pemrograman menjadi terarah dan terstruktur dengan baik. Algoritma program untuk pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* fase tunggal dengan empat kelompok beban berdasarkan metode *PDH*, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Berdasarkan Gambar 9, ditunjukkan bahwa pemrograman mikrokontroler terdiri atas beberapa tahapan untuk penyusunan sintaks.

- b. Penyusunan sintaks

Penyusunan sintaks didasarkan kepada setiap tahapan-tahapan pada pembuatan algoritma, yaitu (a) konfigurasi *pin*, (b) deklarasi variabel dan konstanta (c) program utama, (d) ambil dan kirim data, dan (e) keluaran. Dalam *Arduino IDE* penulisan sintaks lebih dikenal secara umum dengan istilah *sketch*.



Gambar 9. Algoritma program untuk pemantauan energi listrik pada satu kWh-meter fase tunggal dengan empat kelompok beban berdasarkan metode PDH

- Konfigurasi pin

Tahapan konfigurasi *pin* merupakan tahapan penentuan *pin* yang akan digunakan sebagai keluaran atau sebagai masukan. *Pin* digunakan sebagai parameter didalam program yang berfungsi untuk penentuan *pin* pada mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 yang terhubung dengan sensor tegangan, sensor arus, relay, *keypad*, *printer*, dan *LCD*.

- Deklarasi variabel dan konstanta

Deklarasi variabel dilakukan untuk pendeklarasian jenis data yang harus dikerjakan.

- Program utama

Program utama merupakan sumber dari pengontrolan program, karena semua perintah pada program diurutkan dari tampilan awal, pengambilan data, menampilkan data pada *LCD* dan reaksi atau *output* dari program yang dibuat.

- Ambil dan kirim data

Pengambilan data dilakukan sampai mendapatkan perubahan datanya, setelah itu maka data tersebut dikirim untuk selanjutnya ditampilkan pada *LCD* dan diprint.

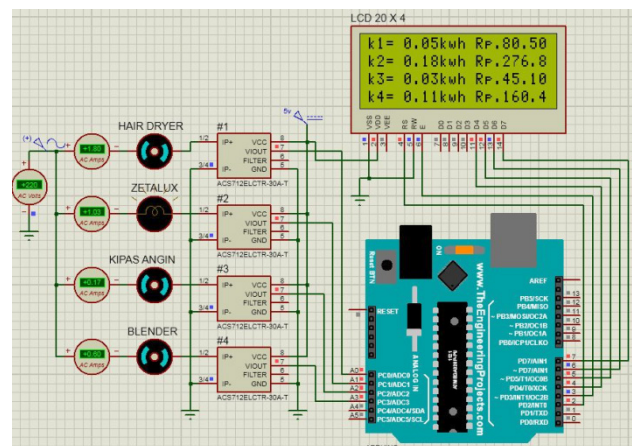
- Keluaran

Keluaran (*output*) program merupakan reaksi yang diakibatkan oleh masukan data yang diberikan oleh rangkaian sensor dan *keypad* yang dihubungkan dengan *pin* masukan pada sistem mikrokontroler. Kondisi keluaran program digunakan dan dihubungkan ke *LCD* dan *printer*.

B. Kinerja Sistem melalui Uji Verifikasi dan Validasi

1. Uji verifikasi berupa simulasi berbantuan aplikasi Proteus

Uji verifikasi terhadap program berbasis Arduino *IDE* yang telah dibuat pada mikrokontroler dilakukan dengan bantuan aplikasi *Proteus*. Langkah pertama dalam pengoperasian aplikasi *Proteus* dengan pengumpulan komponen-komponen yang tersedia sesuai kebutuhan, kemudian komponen-komponen tersebut dirangkai, kemudian program yang telah dibuat dengan bahasa

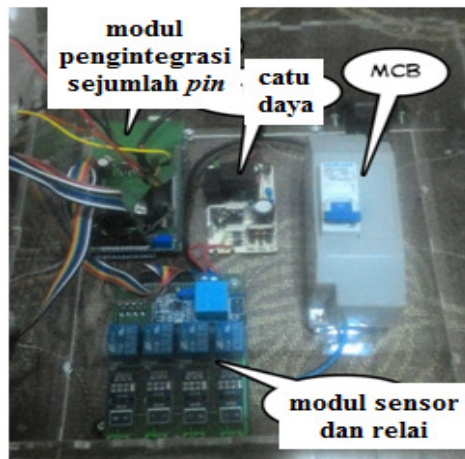


Gambar 10. Tampilan pada uji verifikasi berbantuan aplikasi Proteus

Arduino *IDE* di-compile menjadi bentuk heksa atau bahasa mesin dan di-download-kan ke rangkaian pada aplikasi *Proteus* tersebut. Keberadaan tegangan dan arus pada aplikasi *Proteus* yang terdeteksi pada simulasi dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan untuk pembuktian, apakah program yang telah dibuat sudah sesuai dengan yang diharapkan atau belum. Tampilan pada uji verifikasi berbantuan aplikasi *Proteus*, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 dijelaskan, bahwa masing-masing beban dipasang *AC-amperemeter* yang tersedia pada aplikasi *Proteus*.

Keberadaan beban terpasang pada masing-masing kelompok terhubung ke sensor ACS712. Nilai arus ke setiap kelompok beban sebagai keluaran (*output*) dari sensor ACS712 yang dihubungkan ke jalur masukan (*inputan*) ke sistem mikrokontroler untuk diproses sebagai faktor kali nilai tegangan dan ditampilkan pada *LCD* 4 x 20 dengan waktu pengujian selama satu jam. Beban terpasang pada kelompok beban #1 berupa *hair dryer* yang disimulasikan dengan komponen "motor" dengan arus yang terbaca sebesar 1,80 A, beban terpasang



(a) Penempatan di dalam kotak



(b) Penempatan di tutup kotak

Gambar 11. Tampilan fisis sistem terintegrasi untuk pemantauan energi listrik yang terhubung ke keempat kelompok beban

pada kelompok beban #2 berupa lampu sorot *Zetalux* disimulasikan dengan komponen “*lamp*” dengan arus terbaca sebesar 1,03 A, beban terpasang pada kelompok beban #3 berupa kipas angin yang disimulasikan dengan komponen “*motor*” dengan arus terbaca sebesar 0,17 A, dan beban terpasang pada kelompok beban #4 berupa blender yang disimulasikan dengan komponen “*motor*” dengan arus terbaca sebesar 0,60 A. Uji verifikasi merupakan penentuan linearitas nilai arus dan tegangan. Tanggapan semua sensor tergantung kepada nilai setelan masukan yang diberikan. Program yang telah dibuat dan disimulasikan memberikan hasil sebagaimana diharapkan.

2. Uji validasi berupa pemberian beban-beban listrik sesungguhnya pada masing-masing jalur pasokan daya ke kelompok beban

Uji validasi berupa pengukuran kinerja melalui pemberian beban sesungguhnya pada setiap jalur daya kelompok beban, sehingga pemantauan pemakaian energi listrik dibuat dalam bentuk miniatur rumah kaca berukuran 40 cm x 30 cm x 20 cm sebagai tempat penyimpanan *Miniature Circuit Breaker (MCB)*, catu daya, rangkaian sensor tegangan dan arus, modul relai, rangkaian pengintegrasi sejumlah pin, *keypad*, *Liquid Crystal Display (LCD)* 4 x 20, dan *thermal printer*. Tampilan fisis sistem terintegrasi untuk pemantauan energi listrik yang terhubung ke keempat kelompok beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

Nilai *kWh* dan rupiah yang dibayarkan untuk masing-masing kelompok beban sesuai perubahan besar beban yang terpakai dan nilai Tarif Dasar Listrik (TDL) yang terbaru dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Besar beban terbaca oleh sensor arus yang terpasang dan dilalui arus listrik ke masing-masing kelompok beban dan menjadi faktor kali dengan nilai hasil sensor tegangan yang terbaca dan nilai TDL yang dapat dimasukkan dari *keypad*. Keluaran sensor tegangan dan masing-masing sensor arus dan nilai TDL menjadi masukan dan diproses dalam mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 untuk selanjutnya proses pembacaan hasil perhitungan

ditampilkan melalui *LCD* 20x4, dan dapat dicetak melalui *thermal printer*. Berbagai macam kondisi sistem yang dapat ditampilkan, yaitu: nilai *kWh* dan Rupiah masing-masing kelompok beban, masukan untuk perubahan nilai tarif, cetak hasil harian/bulanan, dan 4) penyetelan ulang.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Pengintegrasian dan pemrograman sistem berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 menunjukkan bahwa pengintegrasian sistem merupakan upaya untuk perolehan secara fisis sebuah sistem minimum untuk pemantauan energi listrik pada satu *kWh*-meter fase tunggal yang dihubungkan ke keempat kelompok beban. Sistem minimum yang diperoleh merupakan sistem terintegrasi dengan sejumlah modul dan peranti elektronika, yaitu modul mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3, board pengintegrasi sejumlah pin, modul sensor dan relai, *LCD*, *thermal printer*, dan catu daya. Kelompok beban divisualkan dalam bentuk pemasangan empat buah kotak kontak yang tersambung dengan empat macam beban listrik yang berbeda. Pemrograman terhadap sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dibuat berbasis bahasa pemrograman Arduino IDE yang didasarkan kepada metode PDH. Pemrograman mutlak diperlukan sebagai upaya untuk pemantauan energi listrik yang diserap oleh masing-masing kelompok beban, sehingga diperoleh kemudahan dalam pembagian biaya sesuai dengan jumlah *kWh* yang tercatat.

Hasil pemrograman diuji verifikasi melalui simulasi berbantuan aplikasi Proteus melalui penanaman program untuk perolehan tanggapan pada tampilan. Uji verifikasi merupakan penentuan linearitas nilai arus dan tegangan, sedangkan uji validasi merupakan pengukuran kinerja sistem berkenaan dengan tampilan nilai *kWh* dan rupiah yang dibayarkan untuk masing-masing kelompok beban sesuai perubahan besar beban yang terpakai dan nilai Tarif Dasar Listrik (TDL) yang terbaru. Keberadaan uji validasi digunakan juga sebagai uji untuk berbagai macam kondisi

sistem yang dibutuhkan, yaitu: 1) nilai kWh dan Rupiah masing-masing kelompok beban, 2) masukan untuk perubahan nilai TDL, 3) cetak hasil harian atau bulanan, dan 4) penyetelan ulang.

REFERENSI

- [1] T. Sidin dan U. Sutisna, "Perancangan Alat Penampil Rupiah pada kWh-meter Berbasis Mikrokontroler AT89S51," dalam *Iteks* (intuisi Teknologi dan Seni), STT Wiworotomo Purwokerto, hlm. 205-218. [Online]. Tersedia di: <http://ejournal.stt-wiworotomo.ac.id/index.php/itek/article/download/82/59>.
- [2] L. Subekti dan A.M. Akhyari, "Prototipe Sistem Prabayar Energi Listrik Untuk Kamar Kost Berbasis Mikrokontroler," dalam *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri (RAPI) XII 2013*, FT-UMS, hlm. E-52-E-61.
- [3] A. Goeritno, Sopyandi, dan R. Yatim, "Beban-beban Listrik Terkontrol melalui Minimum System Berbasis Payload Data Handling Berbantuan Mikrokontroler," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Informatika (SNATIF) ke-4 Tahun 2017*, Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus, hlm. 223-238. [Online]. Tersedia di: <http://jurnal.umk.ac.id/index.php/SNA/article/view/1270/882>.
- [4] A. Goeritno, J. Irawan, and Sopyandi, "Segmentation of Load Groups on a Single Phase kWh-meter Using the Payload Data Handling System," in *International Journal of Advanced Research (IJAR)*, Vol. 6, No. 7, July 2018, pp. 415-426. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/7378>.
- [5] L. Holt and C.J. Larson, "Consumers' Attitude toward Energy Conservation and Energy Efficiency: The Role of Electric," in *Florida Focus BEBR*, Vol. 4, No.4, November 2008, pp. 1-7. [Online]. Available: https://www.bibr.ufl.edu/sites/default/files/Research%20Reports/floridafocus4_4_2008_0.pdf
- [6] W.H. Hardy, "Introduction to Metering," in *Power Measurements Handbook*, 4th Printing. Gainesville, VA: Power Measurements, 2013, pp. 17-26.
- [7] G.W.D. Ricks, "Electricity Supply Meters," in *Journal of the Institution of Electrical Engineers*. 25 (120), (March 1896), pp. 57-77.
- [8] J.A. Fleming, *Magnets and Electric Currents*. New York, NY: Spon & Chamberlain, 1914, p. 335.
- [9] H.W. Beaty and D.G. Fink. "Electric and Magnetic Circuit," in *Standard Handbook for Electrical Engineers*, (Fourth Edition, First Printing). New York: McGraw Hill, 1915, pp. 58-59.
- [10] T. Croft and W.I. Summers, "Fundamental," in *American Electricians' Handbook* (Eleventh Edition). New York: McGraw Hill, 1987, pp. 1-8.
- [11] A. Goeritno, dan Y. Herutama, "Sistem Elektronis Berbantuan PC untuk Pemantauan Kondisi Pasokan Daya Listrik," dalam *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 14, No. 2, hlm. 96-104, Agustus 2018. DOI: <https://doi.org/10.17529/jre.v14i2.10904>
- [12] Sopyandi, A. Goeritno, dan R. Yatim, "Prototipe Sistem Pengontrolan Berbasis Payload Data Handling Berbantu Mikrokontroler Untuk Instalasi Listrik Rumah Tinggal," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI) V-2016*, Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti Jakarta, hlm. 331-337.
- [13] B. Massimo. *Getting Started with Arduino, Second Edition*. Sebastapol, CA: O'Reilly Media, Inc., September 2011, p. 20.
- [14] M. Margolis. *Arduino Cookbook*. Sebastapol, CA: O'Reilly Media, Inc., 2011, pp. 4-6.
- [15] S.F. Barret. *Arduino Microcontroller: Processing for Everyone, Part I*. San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2010, pp. 39-42.
- [16] B. Massimo and M. Shiloh. *Getting Started with Arduino, Third Edition*. Sebastapol, CA: Maker Media, Inc., 2015, pp. 18-19.
- [17] M.A. Aqeel. (2018, June, 30). *Introduction to Arduino Mega 2560: A complete step by step tutorial on the Introduction Mega 2560*. [Online]. Available: <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-mega-2560.html>.
- [18] R. Nataliani, F.X.N. Soelami, E.M. Budi, "Pembuatan Perangkat Keras dan Analisa Sub-Metering Konsumsi Energi Listrik," dalam *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, Vol. 6, No. 1, 2014, hlm. 25-34, [Online]. Tersedia di: <http://journal.engineering.or.id/index.php/joki/article/download/120/201>.
- [19] C. Prabowo, Zurnawita, "Rancang Bangun Alat Pemantauan Penggunaan Energi Listrik pada Laboratorium Mikrokontroler Politeknik Negeri Padang," dalam *Jurnal Teknik Elektro*, ITP, Vol. 5, No. 2, Juli 2016, hlm.149-152, [Online]. Tersedia di: <http://ejournal.itp.ac.id/index.php/tektro/article/viewFile/359/378>.
- [20] J.S. Sebayang, Sj. Masykur, "Perbandingan kiloWatt Hour Meter Analog dengan kiloWatt Hour Meter Digital (Aplikasi pada PT PLN (Persero) Cabang Medan)," dalam *Singuda Ensikom*, Vol. 6, No. 1, Januari 2014, hlm 7-12, [Online] Tersedia di: https://jurnal.usu.ac.id/singuda_ensikom/article/viewFile/5001/2919
- [21] D. Chestnut, (2017, August 07). *How to Calculate kVA from the Electric Bill*. [Online]. Available: <https://sciencing.com/how-8466219-calculate-kva-electric-bill.html>.
- [22] J. Axelsson, *The Microcontroller Idea Book Circuits, Programs, & Applications featuring the 8052-BASIC Microcontroller*. Madison, WI: Lakeview Research, 1997, pp. 1-10.
- [23] S.F. Barret and D.J. Pack, *Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing*, San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2008, pp. 3-5.
- [24] M.A. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, *The AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2011, pp. 40-43.
- [25] Atmel. (2011). *8-bit AVR Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash*, Atmel Corporation, San Jose, CA. [Online]. Available: <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>.
- [26] Atmel. (2014, 02). *8-bit AVR Microcontroller ATmega32A Datasheet*. ATMEL Corporation, San Jose, CA. [Online]. Available: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

